

**MAGDALENA TROJANKIEWICZ, JAROSŁAW BURCZYK**

## Efektywna liczba klonów na plantacjach nasiennych sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.)

Effective number of clones in Scots pine seed orchards

**ABSTRACT**

Trojankiewicz M., Burczyk J. 2005. Efektywna liczba klonów na plantacjach nasiennych sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.). Sylwan 11: 50-58.

Population's ability to pass genetic information to the progeny generation can be expressed through the effective population size. The true number of individuals in a population plays a significant role in ecological sciences however when considering population genetics effective population size is taken into account in the first place. The presented paper is an analysis of the variation in effective number of clones in Scots pine seed orchards in Poland for three organisation levels: plantations, Regional Directorates of State Forests (RDLPs) and jointly for the country. Thus, the effective number of clones calculated for RDLPs and the country informs about the full potential of genetic variation within a given level.

**KEY WORDS**

effective population size, seed orchards, Scots pine

**ADDRESSES**

Magdalena Trojankiewicz – Zakład Genetyki; Instytut Biologii i Ochrony Środowiska; Akademia Bydgoska; e-mail: magdawa@ab-byd.edu.pl

Jarosław Burczyk – Zakład Genetyki; Instytut Biologii i Ochrony Środowiska; Uniwersytet Kazimierza Wielkiego; e-mail: burczyk@ab-byd.edu.pl

### Wstęp

Model gospodarki leśnej oparty na zrębach zupełnych z tendencją do kształtowania monokultur iglastych, stosowany w Polsce od ponad 200 lat, doprowadził do największego znanego w Europie udziału lasów sosnowych [Białobok 1993]. Rokrocznie sosna sadzona jest na powierzchni przekraczającej 40 tys. ha, do zalesienia której potrzeba 600 milionów siewek wyhodowanych z ponad 15 ton nasion. Materiał nasienny pozyskiwany jest głównie z gospodarczych i wyłączonych drzewostanów nasiennych oraz w coraz większym stopniu, z plantacji nasiennych i plantacyjnych upraw pochodnych.

Plantacje nasienne zakładane są w Polsce od prawie 50 lat (dane Instytutu Badawczego Leśnictwa). Głównym zadaniem plantacji nasiennych jest masowa produkcja nasion o wysokich wartościach użytkowych. Klony tworzące plantacje nasienne pierwszej generacji wybierane są najczęściej na podstawie selekcji fenotypowej osobników pochodzących z wytypowanych drzewostanów o znanym, rodzimym pochodzeniu, zapewniających uzyskanie potomstwa najlepiej przystosowanego do lokalnych warunków środowiskowych, posiadającego najbardziej pożądane cechy fenotypowe [Ilmurzyński 1969; Białobok 1993]. Dobór ten nie uwzględnia jednak informacji na temat wartości hodowlanych wybranych klonów oraz ich zróżnicowania pod względem produktywności nasion i pyłku [Koski 1980; White i in. 1993; Gomory i in. 2000].

Badania dotyczące oceny poziomu zmienności genetycznej i zysku genetycznego na plantacjach nasiennych [Giertych 1966, Lindgren i in. 1995, Kang i in. 2001, Wei i Lindgren 2001] oraz weryfikacji jakości otrzymywanych nasion [Griffin i Lindgren 1985, Charisurisri i in. 1992, Karkkainen i in. 1999] prowadzone są od wielu lat. Wiele uwagi poświęca się zróżnicowaniu fenologii i intensywności kwitnienia oraz produkcji nasion [Denti, Schoen 1988; Kjaer, Wallendorf 1988; Burczyk, Chałupka 1997; Kang, Lindgren 1999; Nikkanen, Ruotsalainen 2000; Bila i in. 2001; Gomory i in. 2003]. Badania te wykazały dużą zmienność międzyklonalną wielu cech decydujących o potencjale reprodukcyjnym plantacji nasiennych [Wesoły i in. 1984; Bryam i in. 1986; Ruotsalainen, Nikkanen 1988; Boes i in. 1991; Matziris 1992; El-Kassaby, Cook 1994; Adams, Kunze 1996; Burczyk, Chałupka 1997; Kjaer 1996; Gomory i in. 1999; Kang, Lindgren 1998; Lindgren, Kang 1999; Kang 2000; Nikkanen, Ruotsalainen 2000].

Zdolność populacji do przekazania informacji genetycznej pokoleniu potomnemu może być wyrażona m.in. przez tzw. efektywną wielkość populacji. Pojęcie to zostało wprowadzone przez Wright'a w latach trzydziestych [Wright 1931]. Tradycyjna definicja mówi o efektywnej wielkości populacji, jako o teoretycznej liczbie osobników w wyidealizowanej (kojarzącej się losowo) populacji. Liczebność ta spowodowałaby taki sam wzrost wariancji lub wsobności, jaki obserwuje się w badanej populacji [Falconer 1974].

Rzeczywista liczba osobników populacji ma duże znaczenie w naukach ekologicznych, jednak w rozważaniach z zakresu genetyki populacyjnej pod uwagę bierze się przede wszystkim efektywną wielkość populacji. Właściwa analiza dryfu genetycznego, presji mutacyjnej i selekcyjnej możliwa jest jedynie przy uwzględnieniu efektywnej wielkości populacji. Należy zaznaczyć, że w większości populacji naturalnych ich efektywna wielkość jest z reguły mniejsza niż faktyczna liczba osobników.

Ważnym założeniem dotyczącym prawidłowego funkcjonowania plantacji nasiennych jest wielkość plantacji (w tym liczba klonów) oraz równomierny udział poszczególnych osobników w produkcji populacji potomnej [Koski 1980, Lindgren 1984, Burczyk 1996, Kang i in. 2001]. Tym niemniej, zróżnicowany udział klonów oraz niewielka liczba genotypów tworzących plantację może prowadzić do zawężenia zmienności genetycznej i obniżenia wartości hodowlanej nasion [Koski 1980, Koski 1982, Lindgren i Matheson 1986, Burczyk 1998, Kang 2001]. W związku z tym, że udział poszczególnych klonów w produkcji potomstwa plantacji nasiennej zależy m.in. od liczby reprezentujących je szczepów, Kang i inni [2000] zaproponowali prostą metodę pomiaru wydajności plantacji nasiennych przez ocenę tzw. efektywnej liczby klonów.

Głównym celem niniejszego opracowania jest analiza zróżnicowania efektywnej liczby klonów na plantacjach nasiennych sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) w Polsce. Sosna zwyczajna jest u nas najważniejszym gatunkiem lasotwórczym wykorzystywanym szeroko na skalę przemysłową. Ogólny udział sosny w składzie gatunkowym lasów jest bardzo wysoki i wynosi ponad 70%.

## Material i metody

Dane wykorzystane do obliczeń pochodzą z 45 klonalnych plantacji nasiennych sosny zwyczajnej, o łącznej powierzchni 401,84 ha zlokalizowanych w nadleśnictwach należących do 17 regionalnych dyrekcji Lasów Państwowych. Szczegółowe informacje na temat liczby klonów oraz przyporządkowanej im liczby szczepów na poszczególnych plantacjach uzyskano z archiwów Instytutu Badawczego Leśnictwa w Sękocinie. Wartości danych wykorzystywane do obliczeń są mniejsze od podawanych przez IBL na stronach internetowych [www.ibles.waw.pl] oraz zamieszczonych w „Rejestrze bazy nasiennej w Polsce” [Matras 1996]. Różnice te wynikają z

faktu, iż ogólnodostępne informacje odnoszą się do wytycznych zawartych w planach i dotyczą stanu plantacji w chwili zakładania lub tylko częściowo uwzględniają wykonane zabiegi pielęgnacyjne. Na terenie starszych plantacji, z lat siedemdziesiątych i osiemdziesiątych, przeprowadzono już planowane cięcia redukcyjne, które nie wszędzie zostały uwzględnione. Analizowane dane zostały skorygowane na podstawie informacji uzyskanych z nadleśnictw.

Obliczono następujące parametry: efektywną liczbę klonów ( $N_c$ ) (na podstawie współczynnika zmienności CV%), relatywną efektywną liczbę klonów ( $N_r = N_c/N$ , gdzie  $N$  oznacza liczbę klonów) oraz średnią liczbę szczepów na klon. Zastosowanie współczynnika zmienności CV% umożliwiło bezpośrednie porównywanie wyników otrzymanych dla poszczególnych plantacji oraz różnych RDLP. Efektywną liczbę klonów obliczono wg wzoru:

$$N_c = \frac{N}{\left(\frac{CV\%}{100}\right)^2 + 1}$$

gdzie:

$N_c$  – efektywna liczba klonów,

$N_r$  – relatywna efektywna liczba klonów,

$N$  – rzeczywista liczba klonów,

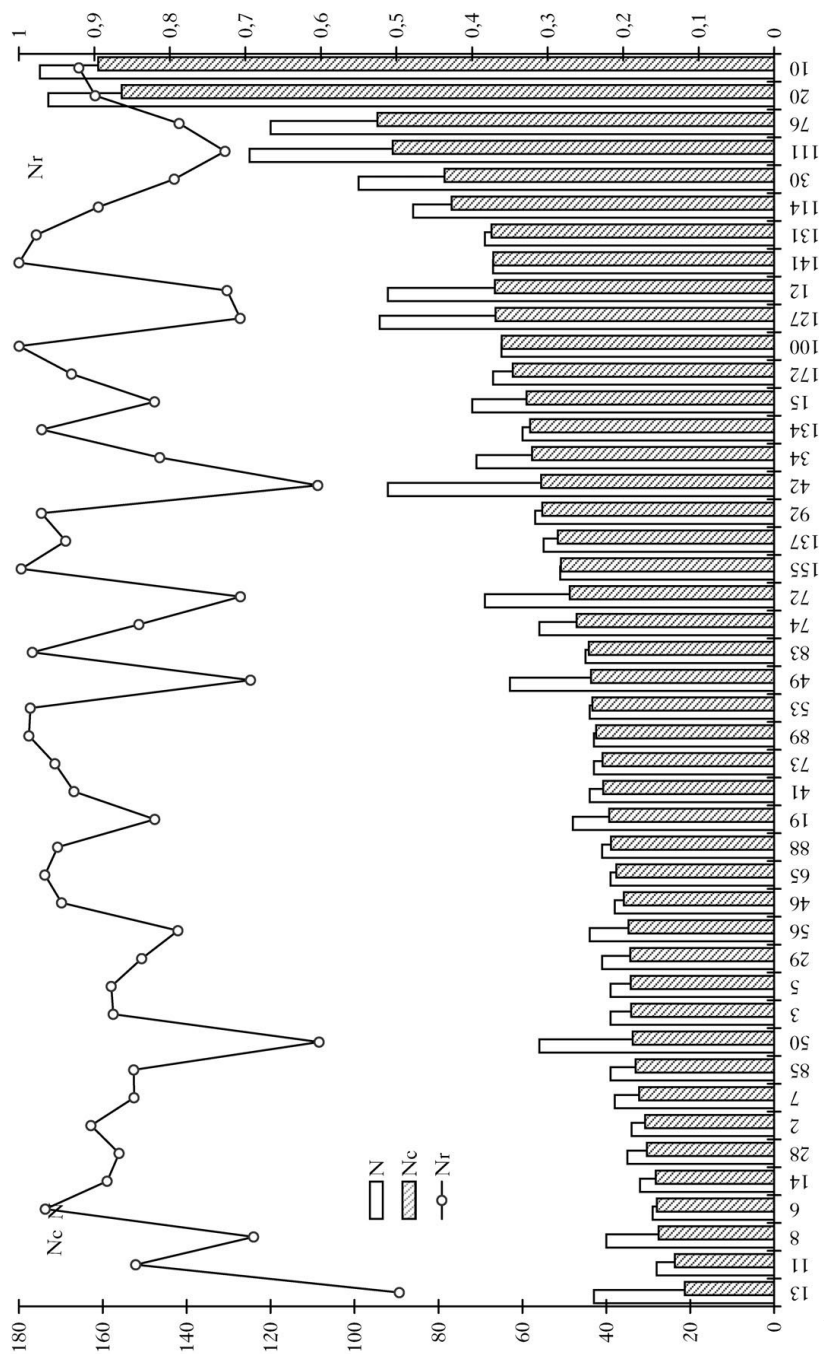
CV% – współczynnik zmienności ( $CV\% = (s/\bar{x}) \cdot 100$ , gdzie:  $s$  – odchylenie standardowe,  $\bar{x}$  – średnia) [Kang, Lindgren 1999; Kang i in. 2001].

Efektywną liczbę klonów oszacowano dla trzech poziomów organizacji: poszczególne plantacje, RDLP oraz sumarycznie dla całego kraju. Wynika to z faktu, że niektóre klony były używane do zakładania kilku plantacji nasiennych, nawet w różnych RDLP. Efektywna liczba klonów obliczana dla RDLP oraz całego kraju, informuje zatem o sumarycznym potencjale zmienności genetycznej dla danego poziomu.

## Wyniki

Analizie poddano 45 plantacji nasiennych sosny zwyczajnej pochodzących z terytorium całej Polski. Obliczenia zostały wykonane na podstawie 86 971 szczepów należących w sumie do 1879 klonów. Należy jednak zaznaczyć, że 663 klony reprezentowane w sumie przez 52 057 szczepów (59,86% ogólnej liczby szczepów), zostały użyte dwa lub kilka razy do założenia różnych plantacji. Gdybyśmy zsumowali liczbę klonów ze wszystkich plantacji nasiennych niezależnie od faktu występowania tych samych klonów na różnych plantacjach, wartość ta dla całego kraju jest większa i wynosi 2800 klonów, natomiast analogiczna suma dla regionalnych dystryktów wynosi 2301 klonów.

Efektywna liczba klonów oszacowana dla poszczególnych plantacji nasiennych wahała się w zakresie od 21,32 do 161,07, przy średniej równej 43,7 (ryc. 1). Spośród 45 plantacji, aż 26 miało wartość  $N_c$  nie przekraczającą 50, natomiast tylko na dwóch plantacjach efektywna liczba klonów przekroczyła 150. Na uwagę zasługują plantacje 12, 42 i 127, które pomimo znacznej faktycznej liczby klonów (od 93 do 95) wykazywały stosunkowo małe wartości efektywnej liczby klonów. Z kolei inne plantacje, np. 131 i 141, pomimo znacznie mniejszej faktycznej liczby klonów, wykazywały większe wartości efektywnej liczby klonów. Należy zatem przypuszczać, że zmienność genetyczna potomstwa tych dwóch plantacji będzie również większa niż plantacji 12, 42 i 127. Na wyróżnienie zasługują plantacje 10 i 20, które charakteryzują się zarówno wysoką liczbą klonów, jak i dużą efektywną liczbą klonów. Suma efektywnych liczebności klonów z poszczególnych plantacji wyniosła 1964,93.



Ryc. 1.

Liczba klonów ( $N$ ), efektywna liczba klonów ( $N_c$ ) [średnia 43,7] oraz relatywna liczba klonów ( $N_r$ ) [średnia 0,70] na plantacjach nasiennych sosny zwyczajnej w Polsce. Numery plantacji są zgodne z wykazem plantacji nasiennych Instytutu Badawczego Leśnictwa. Plantacje uszeregowano pod względem efektywnej liczby klonów

Number of clones ( $N$ ), effective number of clones ( $N_c$ ) [mean 43.7] and relative number of clones ( $N_r$ ) [mean 0.70] in Scots pine seed orchards in Poland. Seed orchard numbering is in accordance with the Forest Research Institute's specification. The ordering of seed orchards is according to the effective number of clones

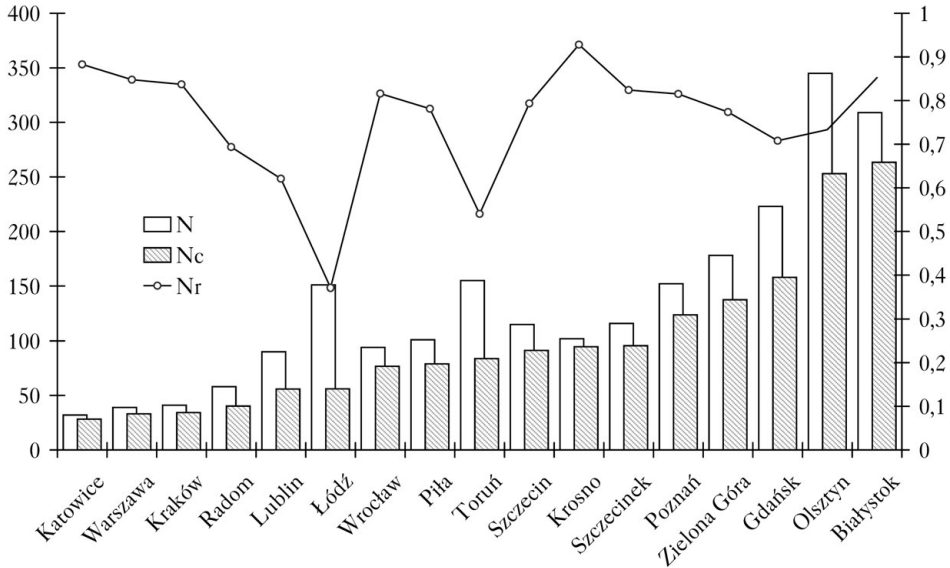
Rozmieszczenie plantacji nasiennych sosny w Polsce jest nierównomierne, co ma związek z występowaniem sosny oraz zapotrzebowaniem na sadzonki tego gatunku. Nie dziwi więc fakt, że w Polsce południowej ogólna liczba plantacji i klonów jest mniejsza niż w pozostałych częściach kraju (tab. 1). W obrębie regionalnych dyrekcji najmniejszą wartość efektywnej liczby klonów obserwowano dla RDLP Katowice ( $N_c=28,25$ ), zaś najwyższą dla RDLP Białystok ( $N_c=263,41$ ), przy średniej 100,26 (tab. 1, ryc. 2). Znaczne zróżnicowanie efektywnej liczby klonów wynika z dużej zmienności liczby szczepów reprezentujących poszczególne klony (od 7,91 do 73,68, przy średniej 31,06), a także z dużego zróżnicowania liczby klonów występujących na plantacjach (od 28 do 175 klonów) (ryc. 2). Suma efektywnych liczebności klonów z poszczególnych RDLP wyniosła 1409,81 i była wyższa od efektywnej liczby klonów obliczonej dla całego kraju ( $N_c=1155,05$ ).

Parametrem pozwalającym na porównanie efektywności genetycznej różnych plantacji nasiennych jest względna efektywna liczba klonów ( $N_r$ ). Parametr ten bliski jedności oznacza, że wszystkie klony są równomiernie reprezentowane na plantacji i należy oczekiwać, że ich udział w produkcji nasion będzie zrównoważony. Względna efektywna liczba klonów wahała się w zakresie od 0,50 dla plantacji 13 do 1,00 dla plantacji 100 i 141, przy średniej 0,70. Większość regionalnych dyrekcji charakteryzowała się stosunkowo wysoką względną efektywną liczbą klonów (średnio 0,74), a swoistym wyjątkiem są regiony łódzki i toruński (odpowiednio 0,37 i 0,54). Względna efektywna liczba obliczona dla wszystkich klonów sosny zwyczajnej w Polsce wyniosła 0,61 (tab. 1).

**Tabela 1.**

Rzeczywiste, efektywne i względne efektywne liczby klonów obliczone dla poszczególnych regionalnych dyrekcji Lasów Państwowych. Regiony uszeregowano pod względem efektywnej liczby klonów  
Real effective and relative effective number of clones jointly calculated for specified Regional Directorates of State Forests. The ordering of the regions is in accordance with the effective number of clones

Regionalna Dyrekcja LP	Liczba plantacji	Liczba szczepów	Średnia liczba szczepów na klon	Liczba klonów (N)	Efektywna liczba klonów ( $N_c$ )	Względna efektywna liczba klonów ( $N_r$ )
Katowice	1	1876	58,63	32	28,25	0,88
Warszawa	1	1503	38,54	39	33,06	0,85
Kraków	1	936	22,83	41	34,33	0,84
Radom	2	2990	51,55	58	40,23	0,69
Lublin	3	5434	60,38	90	55,89	0,62
Łódź	3	4661	30,87	151	56,02	0,37
Piła	2	4431	43,87	101	78,90	0,78
Toruń	4	5496	35,46	155	83,73	0,54
Szczecin	2	4190	36,43	115	91,24	0,79
Wrocław	2	2377	25,28	94	76,70	0,82
Krosno	2	3903	38,26	102	94,67	0,93
Szczecinek	3	3044	26,24	116	95,59	0,82
Zielona Góra	3	6561	36,86	178	137,70	0,77
Gdańsk	3	5805	26,03	223	157,88	0,71
Poznań	4	3716	24,44	152	123,89	0,82
Olsztyn	5	22744	65,92	345	253,00	0,73
Białystok	4	7304	23,64	309	263,41	0,85
Kraj	45	86971	46,28	1879	1155,05	0,61
RDLP			37,79	2301	1409,81	0,61
Plantacje			31,06	2800	1964,93	0,70



Ryc. 2.

Liczba klonów ( $N$ ), efektywna liczba klonów ( $N_c$ ) oraz relatywna efektywna liczba klonów ( $N_r$ ) obliczona sumarycznie dla poszczególnych regionalnych dyrekcji Lasów Państwowych. Regiony uszeregowano pod względem efektywnej liczby klonów

Number of clones ( $N$ ), effective number of clones ( $N_c$ ) and relative number of clones ( $N_r$ ) jointly calculated for specified Regional Directorates of State Forests. The ordering of the regions is in accordance with the effective number of clones

Nie stwierdzono istotnej zależności pomiędzy efektywną i względną efektywną liczbą klonów, zarówno na poziomie plantacji, jak i regionalnych dyrekcji. Podobnie nie odnotowano zależności pomiędzy liczbą klonów a wiekiem plantacji, choć można odnotować tendencję, że młodsze plantacje składają się z większej liczby klonów o zrównoważonej liczbie szczepów, co sprzyja utrzymaniu dużych wartości względnej efektywnej liczby klonów.

## Dyskusja

Wydajność genetyczna plantacji nasiennych, czyli zdolność do przekazania informacji genetycznej pokoleniu potomnemu zależy od wielu czynników. Jednym z ważniejszych jest równomierna reprezentacja niespokrewnionych klonów przez odpowiednią liczbę szczepów oraz ich właściwe rozmieszczenie na plantacji. Niezrównoważona liczba klonów może mieć negatywny wpływ na wartość hodowlaną produkowanych nasion, gdyż na skutek przewagi ilościowej niektórych genotypów oraz braku synchronizacji fenologii kwitnienia pomiędzy poszczególnymi klonami może dochodzić do kojarzenia się osobników w obrębie tego samego klonu lub niewielkiej grupy klonów, a tym samym utraty zmienności genetycznej i obniżenia wydajności plantacji. Z drugiej strony, brak synchronizacji kwitnienia i nierównomierny udział klonów w produkcji pyłku może sprawić, że wiele kojarzeń zajdzie przy udziale pyłku pochodzącego spoza plantacji nasiennej powodując tzw. zanieczyszczenie obcym pyłkiem [Burczyk 1998].

W przypadku różnic płodności poszczególnych klonów, a nawet szczepów, może dochodzić do sytuacji, w której połowa klonów na plantacji wytwarza około 80-90% kwiatostanów zarówno męskich jak i żeńskich [Johnsson i in. 1976, Wesoły i in. 1984]. Na młodych plantacjach,

wchodzących w fazę reprodukcyjną, zdarzają się sytuacje, gdzie zaledwie 25% klonów produkuje aż 90% całkowitej liczby kwiatostanów [Kang i Lindgren 1999]. Na jednej z polskich plantacji nasiennej sosny zwyczajnej Burczyk i Chałupka [1997] odnotowali, że 25% oraz 50% najlepszych klonów produkowało odpowiednio 45% i 72% całkowitej ilości pyłku, natomiast analogiczne wartości dotyczące produkcji szyszek wyniosły 35% i 63%. Efektywna liczba ojców i matek była stosunkowo wysoka, bo aż 75,9% osobników męskich oraz 95,9% żeńskich funkcjonowało jako efektywni rodzice [Burczyk i Chałupka 1997]. Nikkanen i Ruostalainen [2000] zwrócili uwagę, że nierównomierna liczba klonów oraz szczepów akcentuje różnice w intensywności kwitnienia pomiędzy klonami, a odnotowane przez nich średnie wartości względnej efektywnej liczby klonów na plantacji nasiennej świerka pospolitego w Finlandii kształtowały się na poziomie 46-59% i znacznie obniżały wydajność plantacji.

Ocena efektywnej liczby klonów jest stosunkowo prostą analizą badania wydajności genetycznej plantacji nasiennych. Na podstawie rzeczywistej liczby osobników tworzących daną populację możemy oszacować jaka ich część będzie brała efektywny udział w produkcji potomstwa. Jest to szczególnie istotne, ponieważ w przypadku małej wartości efektywnej liczby klonów, skład genetyczny wytwarzanego potomstwa może odbiegać od spodziewanego. Oceny efektywnej liczby klonów prezentowane w niniejszej pracy są w znacznym stopniu zbliżone do wartości spotykanych w literaturze, uzyskanych przez innych autorów. W badaniach dotyczących zmienności efektywnej liczby klonów na europejskich oraz azjatyckich plantacjach nasiennych drzew iglastych przeprowadzonych przez Kanga i in. [2001] otrzymano nieco większe wartości efektywnej liczby klonów (tab. 2). Plantacje nasienne sosny zwyczajnej w Finlandii i Szwecji charakteryzują się generalnie większą powierzchnią i większą liczbą klonów, tym niemniej względna efektywna liczba klonów odnotowana dla plantacji polskich (0,70) jest tylko nieznacznie mniejsza od plantacji skandynawskich (0,80). W pracy Kanga i Lindgrena [1999] zanotowano duże zróżnicowanie względnej efektywnej liczby klonów dla sosen pochodzących ze Wschodniej Azji, od 0,22 (*Pinus koraiensis*) do 0,91 (*Pinus thunbergii*). Należy mieć nadzieję, że względna efektywna wielkość populacji dotycząca produktywności plantacji nasiennych rośnie wraz z wiekiem plantacji. Kjaer i Wallendorf [1998] stwierdzili, że względna efektywna wielkość populacji na plantacji świerka pospolitego oceniona na podstawie zbioru szyszek zmieniała się wraz z wiekiem plantacji i w okresie 20 lat wzrosła z 0,29 do 0,81.

Tabela 2.

Porównanie parametrów plantacji nasiennych sosny zwyczajnej w Polsce z parametrami plantacji nasiennych drzew iglastych otrzymanymi przez Kanga i in. [200] ( $N$  – liczba klonów;  $N_c$  – efektywna liczba klonów;  $N_r$  – względna efektywna liczba klonów)

Comparison of parameters of Scots pine seed orchards in Poland with parameters of conifer seed orchards obtained by Kang et al. [2001] ( $N$  – number of clones;  $N_c$  – effective number of clones;  $N_r$  – relative effective number of clones)

	Gatunek	Liczba plantacji	Średnia powierzchnia [ha]	Średni wiek [lata]	$N$	$N_c$	$N_r$
Finlandia	<i>Pinus sylvestris</i>	176	15,5	28,8	139	111	0,81
	<i>Picea abies</i>	25	10,9	30,1	75	55	0,74
Korea	<i>Pinus koraiensis</i>	13	7,0	23,9	70	43	0,60
	<i>Pinus densiflora</i>	8	13,6	23,3	94	60	0,65
Szwecja	<i>Pinus sylvestris</i>	22	14,5	12,0	80	63	0,80
	<i>Picea abies</i>	11	11,2	21,1	71	62	0,86
Polska	<i>Pinus sylvestris</i>	45	9,2	16,6	62,2	43,7	0,70

W związku z ograniczoną liczbą drzew doborowych oraz zbliżonymi warunkami klimatycznymi i edaficznymi danego regionu, te same klony wykorzystywane są kilka razy na różnych plantacjach nasiennych lub nawet w różnych regionalnych dyrekcjach. Stanowi to pewien problem, gdyż może powodować obniżenie ogólnej zmienności genetycznej nasion otrzymywanych z plantacji nasiennych. Tym niemniej, podobne procedury obserwuje się również w innych krajach, np. w Finlandii, Szwecji, Korei czy Japonii [Kang i in. 2001].

Plantacje nasienne są szczególnym rodzajem populacji o ograniczonej liczbie osobników, a informacje o zróżnicowanym udziale klonów w produkcji potomstwa są szczególnie ważne podczas szacowania wydajności genetycznej plantacji. Głównym celem plantacji jest wytwarzanie nasion i z tego względu należy zwrócić szczególną uwagę na zrównoważoną reprezentację klonów oraz odpowiednią kompozycję plantacji [Burczyk 1996, Gomory i in. 2000]. Tego typu informacje mogą być wykorzystane podczas zakładania kolejnych plantacji nasiennych, umożliwiając polepszenie jakości otrzymywanych nasion.

## Podziękowania

Składamy podziękowania dr. Janowi Kowalczykowi z Instytutu Badawczego Leśnictwa za udostępnienie danych dotyczących plantacji nasiennych. Badania zostały wykonane w ramach projektu badań własnych Akademii Bydgoskiej.

## Literatura

- Adams G. W., Kunze H. A. 1996. Clonal variation in cone and seed production in black and white spruce seed orchards and management implications. *Forestry Chronicle* 72: 475-480.
- Bila A. D., Lindgren D., Mullin T. J. 1999. Fertility variation and its effect on diversity over generations in a teak plantation (*Tectona grandis* L.f.). *Silvae Genetica* 48: 109-114.
- Boes T. K., Brandle J. R., Lovett W. R. 1991. Characterization of flowering phenology and seed yield in a *Pinus sylvestris* clonal seed orchard in Nebraska. *Can. J. For. Res.* 21: 1721-1729.
- Broda J. 1993. Sosna w czasach historycznych. W: Białobok S. [red.] *Biologia sosny zwyczajnej*. Wyd. Sorus. Poznań-Kórnik. 11-29.
- Bryam T. D., Lowe W. J., McGriff J. A. 1986. Clonal and annual variation in cone production in loblolly pine seed orchards. *Forest Science* 32 (4): 1067-1073.
- Burczyk J. 1998. Systemy kojarzenia drzew iglastych. Wyd. Uczelniane WSP, Bydgoszcz.
- Burczyk J. 1996. Variance effective population size based on multilocus gamete frequencies in coniferous populations: An example of a Scots pine clonal seed orchard. *Heredity* 77: 74-82.
- Burczyk J., Chalupka W. 1997. Flowering and cone production variability and its effect on parental balance in a Scots pine clonal seed orchard. *Annales Des Sciences Forestieres* 54: 129-144.
- Chaisurisri K., Edwards D. G., El-Kassaby Y. A. 1992. Genetic control of seed size and germination in Sitka spruce. *Silvae Genetica* 41: 348-355.
- Denti D., Schoen D. J. 1988. Self-fertilization rates in white spruce: effect of pollen and seed. production. *Journal of Heredity* 79: 284-288.
- El-Kassaby Y. A., Cook C. 1994. Female reproductive energy and reproductive success in a Douglas-fir seed orchard and its impact on genetic diversity. *Silvae Genetica* 43: 243-246.
- Falconer D. S. 1974. *Dziedziczenie cech ilościowych*. PWN, Warszawa.
- Giertych M. 1966. Zysk genetyczny a metoda produkcji nasion drzew leśnych. *Sylwan* 11: 59-64.
- Gomory D., Bruchanik R., Paule L. 2000. Effective population number estimation of three Scot Pine (*Pinus sylvestris* L.) Seed orchards based on an integrated assessment of flowering, floral phenology, and seed. *Forest Genetics* 7: 65-75.
- Gomory D., Bruchanik R., Longauer R. 2003. Fertility variation and flowering asynchrony in *Pinus sylvestris*: consequences for the genetic structure of progeny in seed orchards. *Forest Ecology and Management* 174 (1-3): 117-126.
- Griffin A. R., Lindgren D. 1995. Effect of inbreeding on production of *Pinus radiata* – experimental results and a model of gene action. *Theor Appl Genet* 71: 334-343.
- Ilmurzyński E. 1969. Szczegółowa hodowla lasu. Podręcznik dla studentów wydziałów leśnych WSR. PWRIL, Warszawa.
- Jonsson A., Ekberg I., Eriksson G. 1976. Flowering in a seed orchard of *Pinus sylvestris* L. *Studia Forestalia Suecica* 135: 1-38.
- Kang K. S. 2000. Clonal and annual variation of flower production and composition of gamete gene pool in a clonal seed orchard of *Pinus densiflora*. *Can. J. For. Res.* 30: 1275-1280.



- Kang K. S. 2001. Genetic gain and gene diversity of seed orchard crops. Swedish University of Agricultural Sciences, Umea 2001.
- Kang K. S., Harju A. M., Lindgren D., Nikkanen T., Almqvist C., Suh G. U. 2001. Variation in effective number of clones in seed orchards. *New Forests* 21(1): 17-33.
- Kang K. S., Lindgren D. 1998. Fertility variation and its effect on the relatedness of seeds in *Pinus densiflora*, *Pinus thunbergii* and *Pinus koraiensis* clonal seed orchards. *Silvae Genetica* 47 (4): 196-201.
- Kang K. S., Lindgren D. 1999. Fertility variation among clones of Korean Pine (*Pinus koraiensis* S. et Z.) and its implications on seed orchards management. *Forest Genetics* 2: 183-192.
- Karkkainen K., Savolainen O., Koski V. 1999. Why do plants abort so many developing seeds: bad offspring or bad maternal genotypes? *Evolutionary Ecology* 13(3): 305-317.
- Kjaer, E. D. 1996. Estimation of effective population number in a *Picea abies* (L.) Karst seed orchard based on flower assessment. *Scandinavian Journal of Forest Research* 11: 111-121.
- Kjaer E. D., Wallendorf H. 1988. Variation in flowering and reproductive success in a danish *Picea abies* (L.) Karst. seed orchard. *Forest Genetics* 4: 181-188.
- Koski V. 1982. Quantified standards for regional clonal seed orchards. *Forest Genetic Resources* 11: 11-19.
- Koski V. 1980. Minimum requirements for seed orchards of Scots pine in Finland. *Silva Fennica* 14: 136-149.
- Lindgren D., Kang K. S. 1997. Status number – a useful tool for tree breeding. *Res. Rep. For. Gen. Res. Inst. Korea* 154-165.
- Lindgren D., Kang K. S. 1999. Fertility variation among clones of Korean in (*Pinus koraiensis* s. S. et Z.) and its implications on seed orchard. *Forest Genetics* 6 (3): 191-200.
- Lindgren D., Paule L., Shen X. H., Yazdani R., Segerstrom U., Wallin J. E., Lejdebrom M. L. 1995. Can viable pollen carry Scots pine genes over long distances? *Grana* 4 (1): 64-69.
- Lindgren D., Matheson A. C. 1986. An algorithm for increasing the genetic quality of seed from seed orchards by using the better clones in higher proportions. *Silvae Genetica* 35: 173-177.
- Matras J. 1996. Rejestr bazy nasiennej w Polsce. Warszawa: Dyrekcja Generalna Lasów Państwowych; Instytut Badawczy Leśnictwa.
- Matziris D. 1992. Variation in cone production in a clonal seed orchard of black pine. *Silvae Genetica* 42: 136-141.
- Nikkanen T., Ruotsalainen S. 2000. Variation in flowering abundance and its impact on the genetic diversity of the seed crop in a Norway spruce seed orchard. *Silva Fennica* 34 (3): 205-222.
- Ruotsalainen S., Nikkanen T. 1988. Variation in flowering of North Finnish clones in a Norway spruce seed orchards in Central Finland. *Proceedings of the IUFRO: Provenances, Breeding and Genetic Conservation*.
- Wei R. P., Lindgren D. 2001. Optimum breeding generation interval considering buildup of relatedness. *Canadian Journal of Forest Research* 31: 722-729.
- Wesoły W., Urbański K., Barzdan W. 1984. Kwitnienie i obrządzanie sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) na plantacjach nasiennych. *Sylwan* 2: 33-41.
- White T. L., Hodge G. R., Powell G. L. 1993. An advanced-generation tree improvement plan for slash pine in the southeastern United States. *Silvae Genetica* 43: 359-371.
- www.ibles.pl.

## SUMMARY

### Effective number of clones in Scots pine seed orchards

The authors analysed the variation in effective number of clones in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) seed orchards in Poland. 45 clonal seed orchards under analysis covered a total area of 401.84 hectares located in Forest Districts of 17 Regional Directorates of State Forests. The parameters taken into consideration were: effective number of clones ( $N_e$ ), relative effective number of clones ( $N_r$ ), and average number of grafts per clone. The calculations took in 86 971 grafts from 1879 clones. The effective number of clones estimated for individual seed orchards ranged from 21.32 to 161.07 at an average of 43.7 while the relative effective number of clones – from 0.50 to 1.00 at an average 0.70. No significant relationship was found between the effective and relative effective number of clones both at the level of seed orchards and Regional Directorates. No relationship was found between the number of grafts and the age of seed orchards. A great number of clones with a balanced number of grafts foster maintaining the high values of relative effective number of clones in seed orchards.